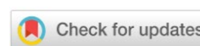
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
TECHNOSPHERE SAFETY

УДК 331.453
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-1-50-57

Научная статья

Обеспечение безопасных условий труда при воздействии на работников поездных бригад виброакустических факторов


EDN: WMKRZO

Д.А. Соколов, Е.И. Головина
Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация
u00111@vgasu.vrn.ru

Аннотация
Введение. Повышенная интенсивность шума и вибрации на железнодорожном транспорте может стать не только актуальной проблемой в области охраны труда, но и серьезной экологической проблемой в ближайшем будущем из-за необходимости постоянного увеличения веса грузовых поездов, повышения скорости движения пассажирских поездов и возрастания пропускной способности железнодорожных линий. В последнее время немало сделано для минимизации негативного воздействия шума и вибрации на железнодорожном транспорте. Однако проблема превышения показателей виброшумовых факторов остается актуальной. Уменьшение вредного воздействия шума и вибрации способствует улучшению условий труда работников поездных бригад и повышению комфортных условий для пассажиров. Как правило, основное внимание при анализе воздействия виброакустических факторов уделяется внешнему их воздействию на селитебную территорию и меньше — воздействию на подвижной состав. К тому же такие исследования не являются комплексными, так как не дают полного представления о воздействии шума и вибрации непосредственно на состав в движении. Цель данного исследования — анализ воздействия виброакустических факторов на работников поездных бригад и пассажиров для разработки метода их комплексной защиты, основанного на применении виброгасящих материалов.

Материалы и методы. В ходе работе были изучены нормативные документы, проведен комплексный анализ актуальной информации по данной теме, использованы методики по расчету вибрации и виброускорения. Значения уровней звукового давления были получены с помощью шумомера SPM-101. Объектом исследования был выбран вагон типа «плацкарт» во время движения. В рамках исследования было измерено звуковое давление на выбранных участках дороги и определен класс условий труда.

Результаты исследований. Результат анализа воздействия виброакустических факторов на работников поездных бригад свидетельствует в необходимости усиления комплексных мер их защиты. Полученный расчет силы вибрации стал основой предложенного авторами метода минимизации вредного воздействия виброакустических факторов, в основе которого использование в конструкции вагона вибро- и звукоизолирующих материалов, подходящих по необходимым акустическим параметрам. В частности, предложено с целью шумоизоляции на пол вагона уложить плотную резину, а на потолок — материал из неорганического волокна. В работе также дана экономическая оценка эффективности мероприятий по минимизации вредного виброшумового воздействия.

Обсуждение и заключение. Предложенные методы минимизации шумового и вибрационного воздействия могут способствовать снижению уровня звукового давления и показателей вибрации до нормативных значений, что сократит негативное воздействие виброакустических факторов на работников поездной бригады и пассажиров. Рассмотренный комплекс по минимизации вибрации и шума включает в себя совокупность методов, в которых нашли применение бюджетные материалы, созданные на основе вторично переработанного сырья.

Ключевые слова: звуковое давление, вибрация, шумовое загрязнение, шумоизоляция

Благодарности. Авторы благодарят профессора, доктора технических наук Вячеслава Яковлевича Манохина за наставничество.

Для цитирования. Соколов Д.А., Головина Е.И. Обеспечение безопасных условий труда при воздействии на работников поездных бригад виброакустических факторов. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2024;8(1):50–57. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-1-50-57

Original article

Ensuring Safe Working Conditions under the Influence of Vibroacoustic Factors on Train Crew Workers

Dmitriy A. Sokolov, Elena I. Golovina ✉
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation
✉ u00111@vgasu.vrn.ru

Abstract
Introduction. The increased intensity of noise and vibration of railway traffic may become not only an urgent problem in the field of occupational safety, but also a serious environmental problem in the near future due to the constant need to increase the weight of freight trains, the speed of passenger trains and the capacity of railway lines. Recently, a lot has been done to minimize the negative effects of noise and vibration in railway transport. However, the problem of exceeding the indicators of vibration noise factors remains relevant. Reducing the harmful effects helps to improve the working conditions of train crew employees and improve the comfortable conditions of transport passengers. As a rule, the main focus of the analysis is on the external impact of vibroacoustic factors on residential areas and less attention is paid to the impact on rolling stock. However, these studies do not provide a complete picture of how noise and vibration actually affect the train in motion. The aim of the study was to obtain the result of an analysis of the impact of vibroacoustic factors on train crew workers and to propose a method of comprehensive protection based on the use of vibration damping materials.
Materials and Methods. In the course of the work, regulatory documents were studied, a comprehensive analysis of relevant information on this topic was carried out, and methods for calculating vibration and vibration acceleration were used. The values of the sound pressure levels were obtained using a SPM-101 sound level meter. The object of the study was a carriage of the "reserved seat" type in the process of movement. As part of the research plan, sound pressure was measured at selected sites and a class of working conditions was determined.
Results. The result of the analysis of the impact of vibroacoustic factors on train crew workers indicated the need to strengthen comprehensive measures to protect them. The obtained calculation of the vibration force became the basis of the method proposed by the authors to minimize the harmful effects of vibroacoustic factors, which was based on the use of vibration and sound insulation materials suitable for the necessary acoustic parameters in the construction of the car. In particular, it was proposed to cover the floor of the car with dense rubber and the ceiling of the car with an inorganic fiber material for sound insulation. The work also provides an economic assessment of the effectiveness of measures to minimize harmful vibration noise effects.
Discussion and Conclusion. The proposed methods for minimizing noise and vibration impacts can help reduce the level of sound pressure and vibration indicators to standard values, which will significantly reduce the negative impact of vibroacoustic factors on train crew workers and railway passengers. The considered complex for minimizing vibration and noise includes a set of methods in which affordable materials based on recycled substances have found application.

Keywords: sound pressure, vibration, noise pollution, sound insulation

Acknowledgements. The authors would like to thank Professor, Doctor of Engineering Science Vyacheslav Yakovlevich Manokhin for his mentoring.

For citation. Sokolov DA, Golovina EI. Ensuring Safe Working Conditions under the Influence of Vibroacoustic Factors on Train Crew Workers. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2024;8(1):50–57. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2024-8-1-50-57

Введение. Железнодорожный транспорт всегда вызывал и вызывает шум и вибрацию, которые в большинстве случаев не могут быть полностью устранены и, скорее всего, будут негативно влиять на окружающую среду невзирая на применение различных методов смягчения их воздействия. Проблема уменьшения влияния шума и вибрации железнодорожного транспорта на людей и воздействия на инженерные конструкции очень сложна из-за большого количества параметров и факторов распределения шумовой и вибрационной энергии. Негативное влияние виброакустических факторов растет с каждым годом в связи с увеличением количества и веса грузовых вагонов, большого их износа, несвоевременным техническим обслуживанием пассажирских вагонов, а также

нехваткой свободного пространства в городских районах, в результате чего новые деловые и жилые объекты размещаются в непосредственной близости от железной дороги. Проблема шума и вибрации от железнодорожного транспорта особенно остро стоит в крупных городах с большим железнодорожным сообщением главным образом из-за малого расстояния от железнодорожных путей до ближайших зданий. Этот факт ограничивает возможности для принятия мер по снижению уровня шума и вибрации. На сегодняшний день первостепенной задачей является защита от превышения звукового давления по системе «внешний источник шума — окружающая среда». Система подразумевает воздействие шума на близко расположенные объекты инфраструктуры, жилые зоны, природу. Защита от такого рода воздействий достигается установкой акустических экранов. С их помощью возможно значительно сократить звуковое давление.

Малоизученной до сих пор является проблема комплексной защиты от виброакустического воздействия. Стоит также отметить и недостаток вибродемпфирующих устройств, которые были бы способны снижать совокупное воздействие шума и вибрации. По мнению авторов, научная новизна данного исследования заключается именно в том, что рассмотрен комплексный подход к решению проблемы минимизации воздействия виброакустических факторов и предложены простые шумопоглощающие материалы для массовой их установки.

Вибрация от рельсового транспорта может оказывать негативные воздействия непосредственно или в сочетании с фоновым шумом. Значительное превышение нормативов уровня шума доставляет дискомфорт не только работникам и пассажирам, но и жителям прилегающих к железнодорожному полотну территорий, часто является значимой причиной ухудшения самочувствия и снижения работоспособности. Специфика шумового загрязнения на железнодорожном транспорте такова, что при долгосрочном воздействии в совокупности с вибрацией оно очень негативно влияет на работников ж/д транспорта [1]. Длительное и систематическое воздействие излишнего шумового давления может привести к развитию хронических заболеваний нервной системы, опорно-двигательного аппарата, быть причиной потери бдительности, ухудшения самочувствия, ощущения дискомфорта, чувства раздражения [2]. Постоянное воздействие шума даже на номинальных значениях (особенно ночью) может стать причиной нарушений сна и хронических неврозов [3]. Количество людей с нарушениями сна очень велико — большинство сталкиваются с воздействием постоянного шума в 50–60 дБ именно ночью, что при отсутствии других дневных источников шума является одним из основных факторов бессонницы [4].

Из всех вредных экологических факторов вибрация является одним из самых массовых. Под ее воздействием находится от 50 до 70 % населения [5]. Анализ вибраций, возникающих в результате движения подвижного состава, очень важен, так как железная дорога — основная транспортная система, охватывающая большую часть территории нашей страны и стран ближнего зарубежья. С каждым годом растут объемы и количество перевозимых по железной дороге грузов [6].

Рабочая вибрация рельсов возникает на стыке колеса и рельса (система «колесо — рельс») и распространяется не только через систему опор пути на почвенный покров и окружающие здания, но и непосредственно на подвижной состав. В некоторых случаях пассажиры могут непосредственно ощущать вибрацию, которую обычно называют вибрацией от взаимодействия подвижного состава и рельсового полотна. Колебания грунта, вызванные железнодорожным движением, в основном возникают в зоне контакта между колесом и рельсом [7]. Поэтому важно, чтобы действие этого механизма возникновения негативного фактора было сведено к минимуму. Основным источником возникновения вибрации на железной дороге является вибрация при качении, вызванная неидеальной рабочей поверхностью колеса и дефектами на рабочей поверхности рельса. Эти вибрации передаются колесу и путевым конструкциям, что приводит к возникновению превышения пороговых значений по основным октавным уровням. Как следствие, вибрация, передаваясь через колесные пары, тележку, вызывает вибрацию кузова вагона, что особо ощутимо на высокой скорости поезда. Вибрации высокой амплитуды могут привести к критическому состоянию узлов вагона, к урону конструкции рельсового подвижного состава. С целью сохранения оборудования вибрации такого рода следует сокращать не только в системе «колесо — рельс», но и непосредственно принимая меры по защите основных частей вагона, это, в свою очередь, минимизирует появление вторичной вибрации от корпуса вагона. Чтобы свести к минимуму механическое воздействие колеса и рельса, поверхность рельса должна быть как можно более гладкой. Вибрации, создаваемые конструкцией вагона и тележки, также должны быть сведены к минимуму, чтобы уменьшить количество вибраций, передаваемых на людей в вагоне [8]. Для создания системы с желаемыми акустическими и структурно-динамическими свойствами при низком воздействии на человека шума и вибрации необходимо учитывать конструкцию пути, колес, тележек, вагонов. Другим важным аспектом является обеспечение технического обслуживания этих деталей соответствующим образом (своевременное техническое обслуживание и плановый ремонт).

Актуальные методы снижения вибрации, как правило, делятся на две основные категории: категория пассивных мероприятий и категория активных мероприятий. В настоящее время чаще всего используются пассивные мероприятия. К ним относится применение традиционных виброгасителей, систем амортизации ударов разного рода (соударение вагонов) и изоляции основания [5]. Однако современные методы снижения вибрации должны быть направлены на пассивно-активное управление вибрацией, которое заключается в активном приложении силы, равной противоположным силам, создаваемым внешней вибрацией. Иногда для гашения вносимых вибраций предлагается использовать разработанные системы управления и гашения сил, которые создают вибрацию, а также конструкции, созданные на основе новых композитных материалов. В частности, можно использовать пьезоэлектрические элементы в качестве гашения излишней вибрации[1]. Суть этого метода заключается в том, что пьезоэлектрический элемент вырабатывает электрическую энергию при механическом растяжении и реагирует по форме деформации, если на него подается электрическая энергия. Еще одним методом минимизации шума и вибрации является метод применения дисковых тормозов вместо чугунных колодок. Альтернативой же более сложным в адаптации, установке и дорогим дисковым тормозам является замена чугунных блоков на агломерационные или композитные. Все названные выше методы направлены на основные узлы вагона. Авторами был проведен расчет виброизоляции в самом вагоне на пассажирских местах.

Материалы и методы. В качестве материала исследования был рассмотрен вагон типа «плацкарт». Замеры проводились с помощью прибора для измерения звукового давления — шумомера SPM-101. Участки с наиболее негативным воздействием виброакустического фактора были выбраны исходя из конструктивных особенностей тележки вагона и строения внутренней структуры пространства вагона. Следовательно, план исследования включал в себя измерение звукового давления в вагоне и определение класса условий труда.

Для анализа возможности снижения шума в источнике вагона типа «плацкарт» рассмотрена схема вагона и отмечены на ней участки наиболее негативного воздействия виброакустических факторов (рис. 1). На этих участках подразумевается наибольшее звуковое давление в вагоне и как следствие — критическое негативное воздействие виброакустических факторов при различных условиях (скорость движения, состояние железнодорожного полотна и др.).

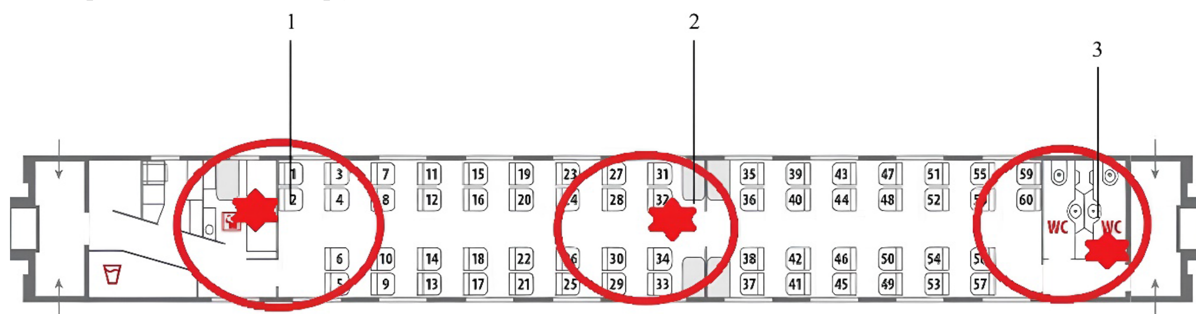


Рис. 1. Значения звукового давления в вагоне по участкам (1, 2, 3)

Следующим методом исследования минимизации вибрационного воздействия был расчет виброизоляции пассажирских мест в вагоне на основе методики[2]. Были применены виброзащитные вставки из резинового материала. Пол вагона у основания кресла вибрирует с частотой $f = 50$ Гц, с виброскоростью $v = 0{,}4$ м/с и массой места 22 кг. Примем массу пассажира в 70 кг. Модуль упругости: $\sigma_{доп} = 0{,}04$ МПа, $E = 2.5$ МПа, $h = 0{,}1$ м, коэффициент сопротивления $\xi = 600$ Н с/м.

Определим массу, приходящуюся на вставки, когда пассажир будет сидеть. Масса пассажира, приходящаяся на сидение, составляет 70 %, значит:

$$m_{ч} = 70 \cdot 0{,}7 = 49 \text{ кг} \quad (1)$$

$$m_{об} = 49 + 22 = 71 \text{ кг} \quad (2)$$

Определим максимальный статический прогиб вставок:

$$Z = h\frac{\sigma_{доп}}{E_{д}} = 0{,}1 \cdot \frac{4}{250} = 16 \cdot 10^{-4}. \quad (3)$$

[1] Снижение уровня шума в кривых. *Железные дороги мира.* 2009;6:70–76. URL: https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-06_70-76.pdf (дата обращения: 14.11.2023)

[2] *Пособие по акустической виброизоляции центробежных машин.* Москва: Издательство литературы по строительству; 1973. 35 с. URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293801/4293801338.pdf (дата обращения: 14.11.2023)

Частотная характеристика собственных колебаний амортизированного пассажирского места будет:

$$\omega = 2\pi \frac{0,5}{\sqrt{Z}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{0,5}{16 \cdot 10^{-4}} = 79 \text{ с}^{-1}. \quad (4)$$

Коэффициент передачи вибрации определяется по формуле:

$$T_z = \frac{1 + \left(2D\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(2D\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}. \quad (5)$$

Найдем относительное демпфирование D и круговую частоту ω:

$$D = \frac{\xi}{2\omega_0 \cdot m_{\text{об}}} = \frac{600}{2 \cdot 79 \cdot 71} = 0,05. \quad (6)$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1}; \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{314}{79} = 4. \quad (7)$$

Получим:

$$T_Z = \sqrt{\frac{1 + (2 \cdot 0,05 \cdot 4)^2}{\left[1 - (4)^2\right]^2 + (2 \cdot 0,05 \cdot 4)^2}} = 0,071. \quad (8)$$

Затем определим вибрационную скорость на сидении:

$$v = 0,4 \cdot 0,071 = 0,028 \text{ м/с}. \quad (9)$$

Частота колебания места составит:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{79}{2 \cdot 3,14} = 12,57 \text{ Гц}. \quad (10)$$

Результаты исследования. Согласно ГОСТу 33787-2019 для частоты 12,57 Гц виброскорость не должна превышать 0,0056 м/с[3]. Полученный в результате расчета показатель не соответствует данному требованию. Для его улучшения можно применить виброзащитный материал с другими характеристиками — таким может стать композитный лист из плотных резин (рис. 2). Благодаря более высокому коэффициенту сопротивления можно добиться минимизации вибрационного воздействия.

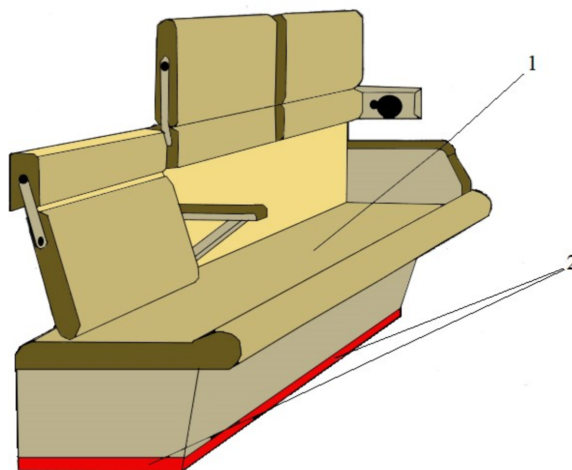


Рис. 2. Вариант расположения виброзащитного материала:
1 — пассажирское сиденье; 2 — виброзащитная вставка

[3] ГОСТ 33787-2019. *Оборудование железнодорожного подвижного состава. Испытания на удар и вибрацию*. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200170805 (дата обращения: 14.12.2023).

В таблице 1 представлены результаты измерения уровней звукового давления на участках, представленных на рис. 1. Сравнив их с нормами уровня звука в вагоне по СП 2.5.3650-20, можно сделать вывод, что наблюдается превышение показателей[4].

Таблица 1

Показатели шумового давления в вагоне по зонам

Участок, №	Уровень звука, дБ
1	77,5
2	74,1
3	78,5

Проведенные в данной работе расчеты позволили авторам сделать вывод о необходимости применения метода минимизации виброакустических факторов, основанного на использовании виброгасящих материалов. Его эффективность подтверждается представленным исследованием. Авторами предложен комплекс мероприятий, включающий в себя установку в обшивку потолка вагона в наиболее подверженных шуму зонах шумопоглощающего материала для минимизации шумового загрязнения. Материал представляет собой композит из неорганических волокон толщиной листа от 2 до 4 см. Также для снижения шумового и вибрационного воздействия предложено установить вставки в пол вагона по аналогии с созданием амортизирующей системы. Для расчета эффективности метода был проведен расчет воздействия вибрации на пассажирское место с учетом вибрации пола вагона. Материал безопасен при эксплуатации для человека и окружающей среды, соответствует критериям пожарной безопасности, которые установлены для пассажирского вагона согласно распоряжению ОАО «РЖД» от 5 ноября 2009 г. № 2255р[5].

Обсуждение и заключение. Оценка воздействия вибрации и шума, полученная в данном исследовании, показывает, что оно существенно влияет на условия труда работников поездных бригад и пассажиров. Работники, которые много времени проводят в дороге, рабочие, занимающиеся ремонтом путей в непосредственной близости от железнодорожного полотна, и пассажиры поездов подвергаются крайне вредному шумо- и вибрационному воздействию, которое оказывает разрушительное воздействие на их здоровье. Поэтому так важно минимизировать это вредное воздействие в источнике его возникновения. Несомненно, улучшение существующих и внедрение новых методик минимизации последствий шумового и вибрационного факторов на железной дороге положительно повлияет на здоровье работников и будет способствовать созданию благоприятной социальной обстановки. Стоит особо подчеркнуть, что мероприятия по минимизации негативного воздействия шума и вибрации от железнодорожных составов дают относительно небольшой экономический эффект, но имеют при этом большую ценность для обеспечения защиты здоровья как работников, так и пассажиров, создания для них более комфортных условий.

В предложенном авторами комплексе мероприятий по минимизации вибрации и шума применяются материалы, созданные из вторично переработанного сырья. Для пола вагона используется плотная резина, для потолка — композит из неорганического волокна толщиной 2–4 см. Оснащением вагонов этими материалами можно достичь:

– минимизации шумового давления в вагоне на 7–12 Дб;

– уменьшения вибрационного воздействия.

Список литературы

1. Соколов Д.А. Характеристика шумового загрязнения и вибрации железнодорожного транспорта. Минимизация воздействия шума и вибрации на работников железнодорожного транспорта. *Студент и наука*. 2022;1(20):65–67.

2. Капцов В.А., Лексин А.Г. Физические факторы производственной среды и безопасность движения. *Гигиена и санитария*. 2009;5:87–93. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskie-faktory-proizvodstvennoy-sredy-i-bezopasnost-dvizheniya/viewer (дата обращения: 14.12.2023).

3. Епанчинцева Е.А. Экологические проблемы на железнодорожной дороге. В: *Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум — 2019»*. Москва; 2019. URL: https://scienceforum.ru/2019/article/2018010394 (дата обращения: 10.10.2023).

[4] *Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры.* Санитарно-эпидемиологические правила СП 2.5.3650-20. URL: https://docs.cntd.ru/document/566406892?marker=6560IO (дата обращения: 14.11.2023).

[5] *О введении Инструкции по обеспечению пожарной безопасности в вагонах пассажирских поездов.* Распоряжение ОАО «РЖД» № 2255р от 05.11.2009. URL: https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-05112009-n-2255r/?ysclid=lpav14zomo74285296 (дата обращения: 14.11.2023).

4. Головина Е.И., Соколов Д.А. Обеспечение безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2023;(1):39–46. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-39-46

5. Карабаева М.У., Саидов С.М., Юсуфханов З.Ю. Распространения вибрации при прохождении поездов в зависимости от расположения железнодорожного полотна. *Символ науки*. 2017;(5):25–27. URL: https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2017-05.pdf?ysclid=lpgkp9yw9r840350762 (дата обращения: 10.10.2023).

6. Харламов А.А., Комогорцев М.Г. Метод визуализации и оценки вибрационных воздействий на верхние строения железнодорожного пути. *Молодой ученый.* 2011;3(26):88–91. URL: https://moluch.ru/archive/26/2816/?ysclid=lpgkuevag721587460 (дата обращения: 10.10.2023).

7. Борисов Е.К., Алимов С.Г., Назаров А.Ю. Вибрация грунта от железнодорожного трафика. *Вологдинские чтения.* 2005;48:87–92.

8. Романов С.Н. *Биологическое действие вибрации и звука: Парадоксы и проблемы XX века.* Вартанян И.А. (ред.). Санкт-Петербург: Наука; 1991. 158 с. URL: https://studizba.com/files/show/djvu/165-1-romanov--biologicheskoe-deystvie.html (дата обращения: 14.12.2023).

References

1. Sokolov DA. Kharakteristika shumovogo zagryazneniya i vibratsii zheleznodorozhnogo transporta. Minimizatsiya vozdeistviya shuma i vibratsii na rabotnikov zheleznodorozhnogo transporta. *Student i nauka.* 2022;1(20):65–67. (In Russ.).

2. Kaptsov VA, Leksin AG. Physical factors of the industrial environment and traffic safety. *Hygiene and Sanitation*. 2009;5:87–93. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskie-faktory-proizvodstvennoy-sredy-i-bezopasnost-dvizheniya/viewer (accessed: 14.12.2023). (In Russ.).

3. Epanchintseva EA. Environmental problems on the railway. In: *Materialy XI Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii "Studencheskii nauchnyi forum-2019".* Moscow; 2019. URL: https://scienceforum.ru/2019/article/2018010394 (accessed: 10.10.2023). (In Russ.).

4. Golovina EI, Sokolov DA. Ensuring occupational safety at railway transport operation by upgrading the systems of vibration damping plates and rail plates. *Safety of Technogenic and Natural Systems.* 2023;(1):39–46. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-39-46 (In Russ.).

5. Karabaeva MU, Saidov SM, Yusufkhanov ZYu. Rasprostraneniya vibratsii pri prokhozhdenii poezdov v zavisimosti ot raspolozheniya zheleznodorozhnogo polotna. *Symbol of science*. 2017;(5):25–27. URL: https://os-russia.com/SBORNIKI/SN-2017-05.pdf?ysclid=lpgkp9yw9r840350762 (accessed: 10.10.2023). (In Russ.).

6. Kharlamov AA, Komogortsev MG. Metod vizualizatsii i otsenki vibratsionnykh vozdeistvii na verkhnie stroeniya zheleznodorozhnogo puti. *Molodoi uchenyi.* 2011;3(26):88–91. URL: https://moluch.ru/archive/26/2816/?ysclid=lpgkuevag721587460 (accessed: 10.10.2023). (In Russ.).

7. Borisov EK, Alimov SG, Nazarov AYu. Vibratsiya grunta ot zheleznodorozhnogo trafika. *Vologdinskie chteniya.* 2005;48:87–92. (In Russ.).

8. Romanov SN. *Biologicheskoe deistvie vibratsii i zvuka: Paradoksy i problemy XX veka.* Vartanyan IA (ed.). Saint-Petersburg: Nauka; 1991. 158 p. URL: https://studizba.com/files/show/djvu/165-1-romanov--biologicheskoe-deystvie.html (accessed: 14.12.2023). (In Russ.).

Поступила в редакцию 20.11.2023
Поступила после рецензирования 16.12.2023
Принята к публикации 22.12.2023

Об авторах:

Дмитрий Алексеевич Соколов, студент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), SPIN-код: 3137-6710, ORCID, dmitriysokolov598@gmail.com

Елена Ивановна Головина, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, заместитель декана по учебной работе факультета инженерных систем и сооружений Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), SPIN-код: 7333-2526, ORCID, u00111@vgasu.vrn.ru

Заявленный вклад соавторов:
Д.А. Соколов — проведение эксперимента, анализ результатов исследований, подготовка и оформление текста статьи, формирование выводов.
Е.И. Головина — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования.

Конфликт интересов: авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 20.11.2023
Revised 16.12.2023
Accepted 22.12.2023

About the Authors:
Dmitriy A. Sokolov, Student of the Technosphere and Fire Safety Department, Voronezh State Technical University (84, 20 letiya Oktyabrya St., Voronezh, 394006, RF), SPIN-код: 3137-6710, ORCID, dmitriysokolov598@gmail.com

Elena I. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Technosphere and Fire Safety Department, Deputy Dean for Academic Affairs of the Faculty of Engineering Systems and Structures, Voronezh State Technical University (84, 20 letiya Oktyabrya St., Voronezh, 394006, RF), SPIN-code: 7333-2526, ORCID, u00111@vgasu.vrn.ru

Claimed contributorship:
DA Sokolov: conducting an experiment, analyzing research results, preparing and formatting the text of the article, forming conclusions.
EI Golovina: academic advising, formulation of the basic concept, goals and objectives of the study.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.